

EKSPERIMENTINIS TYRIMAS

Pašaldymas labiau pagreitina raumens atsigavimą po ekscentrinio-koncentrinio fizinio krūvio nei po koncentrinio

Saulė Sipavičienė, Albertas Skurvydas, Irina Ramanauskienė¹,
Žibuoklė Senikienė², Audronė Dumčienė

Lietuvos kūno kultūros akademija, ¹Kauno technologijos universitetas, ²Kauno medicinos universitetas

Raktažodžiai: griaučių raumenys, atsigavimas, šaldymas.

Santrauka. Tyrimo tikslas. Nustatyti šaldymo poveikį žmogaus griaučių raumens atsigavimui po koncentrinio ir ekscentrinio-koncentrinio fizinio krūvio.

Buvo tiriami 40 aktyviai nesportuojantys sveiki 20–23 metų vyrai. Per pirmąjį eksperimentą tiriamieji atliko koncentrinį, per antrąjį – ekscentrinį-koncentrinį fizinį krūvį. Abiejų eksperimentų metu tiriamieji buvo suskirstyti į lygias grupes: vieniems po fizinio krūvio kojų raumenys buvo pašaldomi, kitiems ne. Buvo matuojama temperatūra tiesiojoje žarnoje, odos paviršiuje ir keturgalvio šlaunies raumens viduje prieš fizinį krūvį ir po jo, taip pat baigus pašaldyti raumenis. Buvo registruojama raumens maksimalioji valingoji jėga, nevalingojo susitraukimo jėga, sukelta stimuliuojant elektra 20 Hz dažniu ir 50 Hz dažniu. Šie duomenys buvo registruojami prieš fizinį krūvį, po fizinio krūvio praėjus 2 min. ir 4, 8, 24, 48, 72 valandoms. Kreatinkinazės koncentracija kraujyje buvo tiriama prieš fizinį krūvį ir po fizinio krūvio praėjus 24 valandoms. Raumenų skausmingumas buvo vertinamas po fizinio krūvio praėjus 24, 48, 72 valandoms.

Tyrimo duomenimis, šaldymas, taikomas po koncentrinio ir ekscentrinio-koncentrinio fizinio krūvio, veikia raumens pažeidos rodiklius: sumažėja kreatinkinazės aktyvumas, greičiau atsigauna jėga. Šaldymo poveikis yra didesnis, kai procedūra taikoma po ekscentrinio-koncentrinio fizinio krūvio, t. y. tuomet, kai didesnis raumens pažeidimas.

Išvadas

Šaldymas padeda gydyti sportinius griaučių raumenų pažeidimus (1). Pastebėta, kad šaldymas mažina uždegimą, skausmą, raumenų spazmus, lėtina medžiagų apykaitą ir kraujotaką, didina audinių standumą (2).

Šaldymas teigiamai veikia po sportinių traumų, kai pažeidžiami minkštieji audiniai, tačiau dar neaiškus šaldymo poveikis fizinio krūvio sukeltam raumens pažeidimui. Vienuose moksliniuose straipsniuose teigiama, kad šaldymas yra veiksmingas, nes mažina ekscentrinio fizinio krūvio sukeltus raumens pažeidimo rodiklius (3, 4). Kituose nurodoma, kad šaldymas neturi didesnio poveikio pažeistų raumenų funkcinėms savybėms (5). Gali būti, kad nepakankamas šaldymo procedūros dažnis ir trukmė, temperatūros parinkimas, šaldymo būdas, pradinė raumens temperatūra ir počinio sluoksnio storis yra raumenų savybių pokyčius lemiantys veiksniai (6).

Literatūros šaltiniuose nėra duomenų apie raumens

funkcinių savybių pokyčius po šaldymo procedūros, kai skirtingas elektrostimuliacijos dažnis ir nevienodas fizinis krūvis. Be to, dar nenustatyta, ar šaldymas pagreitina raumens atsigavimą po koncentrinio fizinio krūvio.

Tyrimo tikslas – nustatyti šaldymo poveikį žmogaus griaučių raumens atsigavimui po koncentrinio ir ekscentrinio-koncentrinio fizinio krūvio.

Tyrimo metodai

Tyrimo protokolas aptartas ir patvirtintas Kauno regioniniame biomedicininio tyrimų etikos komitete. Tirti 40 aktyviai nesportuojantys sveiki 20–23 metų vyrai.

Raumenų susitraukimo savybių testavimo metodika. Keturgalvis šlaunies raumuo buvo stimuliuojamas elektros stimulatoriaus („MG 440, Medicor“) dviem paviršiniais elektrodais (9×18 cm). Raumens jėga buvo testuojama fiksuojant koją per kelio sąnarį 90° kampu. Kompiuteriu buvo apdorojamas jėgos

signalas, valdomi stimuliavimo režimai. Buvo registruojama raumens jėga, sukelta stimuliuojant jį elektra 20 Hz (P20) ir 50 Hz (P50) dažniu. Raumens nevalingojo susitraukimo jėga (P) ir maksimali valingoji jėga (MVJ) buvo registruojama prieš fizinį krūvį ir praėjus 2 min. ir 4, 8, 24, 48, 72 valandoms po fizinio krūvio. Raumenų valingosios ir nevalingosios jėgos testavimas buvo panašus į ankstesnius mūsų tyrimus (7–9). Tomis valandomis, kai raumuo buvo šaldomas, raumens jėga buvo matuojama prieš šaldymo procedūrą. Maksimaliosios jėgos momentas buvo nustatomas izokinetiniu dinamometru („Biodex System 3 Pro“).

Raumenų pašaldymo metodika. Po fizinio krūvio praėjus 3–4 min. ir 4, 8, 24 val., tiriamieji du kartus po 15 min. (tarp jų 10 min. pertrauka), laikė panardinę kojas $15 \pm 0,5^\circ\text{C}$ temperatūros vandens vonioje. Panašų metodą taikė ir kiti mokslininkai (3, 10). Vandens temperatūra buvo kontroliuojama vandens termometru.

Temperatūros matavimas. Raumens temperatūra buvo matuojama adatiniumi termometru („Ellab A/S, tipas DM 852“, Danija).

Kontrolinė raumens temperatūra matuojama taip: oda dezinfekuojama spiritiniu jodo 5 proc. tirpalu, į šoninio plačiojo šlaunies raumens vidurinę trečdalį, šone nuo šlaunikaulio, įduriama 3 cm ilgio adata. Raumens temperatūra pakartotinai matuojama po fizinio krūvio ir po raumens pašaldymo procedūros (adatinis termometras po kiekvieno naudojimo sterilizuojamas autoklave).

Vidinė kūno temperatūra buvo matuojama zondų su termodavikliu („Ellab“, Danija). Tiriamasis įsikišdavo zondą su termodavikliu į išeinamąją angą (trukmė – 10 sek., gylis – 10 cm) (panaudotas zondas su termodavikliu sterilizuojamas autoklave).

Ekscentrinio-koncentrinio krūvio atlikimo metodika. Buvo atliekama 100 šuolių žemyn kas 20 sek. nuo 75 cm aukščio pakylus, pritupiant iki 90° kampo per kelio sąnarius ir kiek įmanoma pašokant aukštyn. Šokinėjama ant daugiakomponentės jėgos matavimo platformos (40×60 cm) „KISTLER“ (tipas „9286 A“). Buvo matuojamas kiekvieno šuolio aukštis.

Koncentrinio krūvio atlikimo metodika. Tiriamieji atliko viena koja 100 lenkimo-tiesimo judesių $180^\circ/\text{sek.}$ kampiniu greičiu (matuota izokinetiniu dinamometru „Biodex System 3 Pro“). Buvo nustatomas jėgos momentas.

Kreatinkinazės aktyvumo kraujyje vertinimas. Kreatinkinazės (CK) aktyvumas serume buvo vertinamas prieš krūvį ir po jo praėjus 24 valandoms. Norint įvertinti CK aktyvumą serume, iš tiriamųjų rankos venos buvo imamas kraujo mėginys. Mėginio analizė atlikta Kauno medicinos universiteto klinikų Bioche-

mijos laboratorijoje (naudotas automatinis biocheminis analizatorius „Monarch“ (gamintojas „Instrumentation Laboratory SpA“, JAV ir Italija).

Raumenų skausmo vertinimas. Raumenų skausmas subjektyviai buvo vertinamas balais (nuo 0 iki 10: visiškai nejautė skausmo – 0; jautė nemalonų pojūtį – 3; jautė skausmą – 5; jautė didelį skausmą – 8; jautė didžiulį skausmą, neleidžiantį vaikščioti – 10), praėjus po krūvio 24, 48 ir 72 valandoms (11).

Tyrimo eiga. Atlikti du eksperimentai, kuriuose dalyvavo tie patys tiriamieji. Tarp eksperimentų buvo dviejų trijų mėnesių pertrauka. Per pirmąjį eksperimentą tiriamieji atliko koncentrinį, per antrąjį – ekscentrinį-koncentrinį fizinį krūvį. Abiejų eksperimentų metu tiriamieji buvo suskirstyti į vienodas grupes: vieniems po fizinio krūvio kojų raumenys buvo šaldomi, kitiems ne.

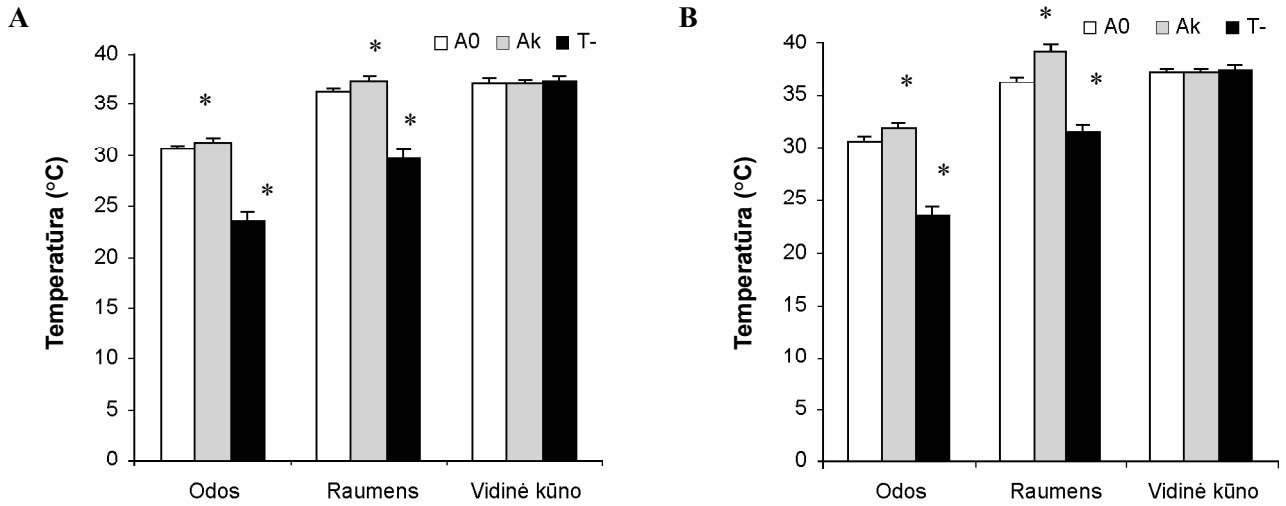
Matematinė statistika. Duomenys apdoroti matematinės statistikos metodais, apskaičiuotas aritmetinis vidurkis (\bar{x}), standartinis nuokrypis (S), vidurkių skirtumų reikšmingumas (p), skirtumas statistiškai reikšmingas, kai $p < 0,05$, remiantis dviejų veiksnių dispersinės analizės būdu (ANOVA). Skaičiavimai atlikti naudojant specializuotą statistinių programų paketą „Statistika 7.0“.

Rezultatai

Vidinė kūno temperatūra po abiejų fizinio krūvių ir po raumenų pašaldymo procedūros statistiškai reikšmingai nepakito ($p > 0,05$; 1 A, B pav.). Paviršinė odos temperatūra po fizinio krūvio pakilo, pašaldžius raumenį sumažėjo statistiškai reikšmingai ($p < 0,05$; 1 A, B pav.). Raumens vidinė temperatūra po ekscentrinio-koncentrinio fizinio krūvio pakilo vidutiniškai $2,9 \pm 0,5^\circ\text{C}$ ($p < 0,05$); pašaldžius raumenį sumažėjo vidutiniškai $7,8 \pm 0,9^\circ\text{C}$ ($p < 0,05$; 1 A, B pav.). Raumens vidinė temperatūra iškart po koncentrinio fizinio krūvio pakilo vidutiniškai $1,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ ($p < 0,05$), pašaldžius raumenį, sumažėjo vidutiniškai $7,6 \pm 0,7^\circ\text{C}$ ($p < 0,05$; 1 A, B pav.).

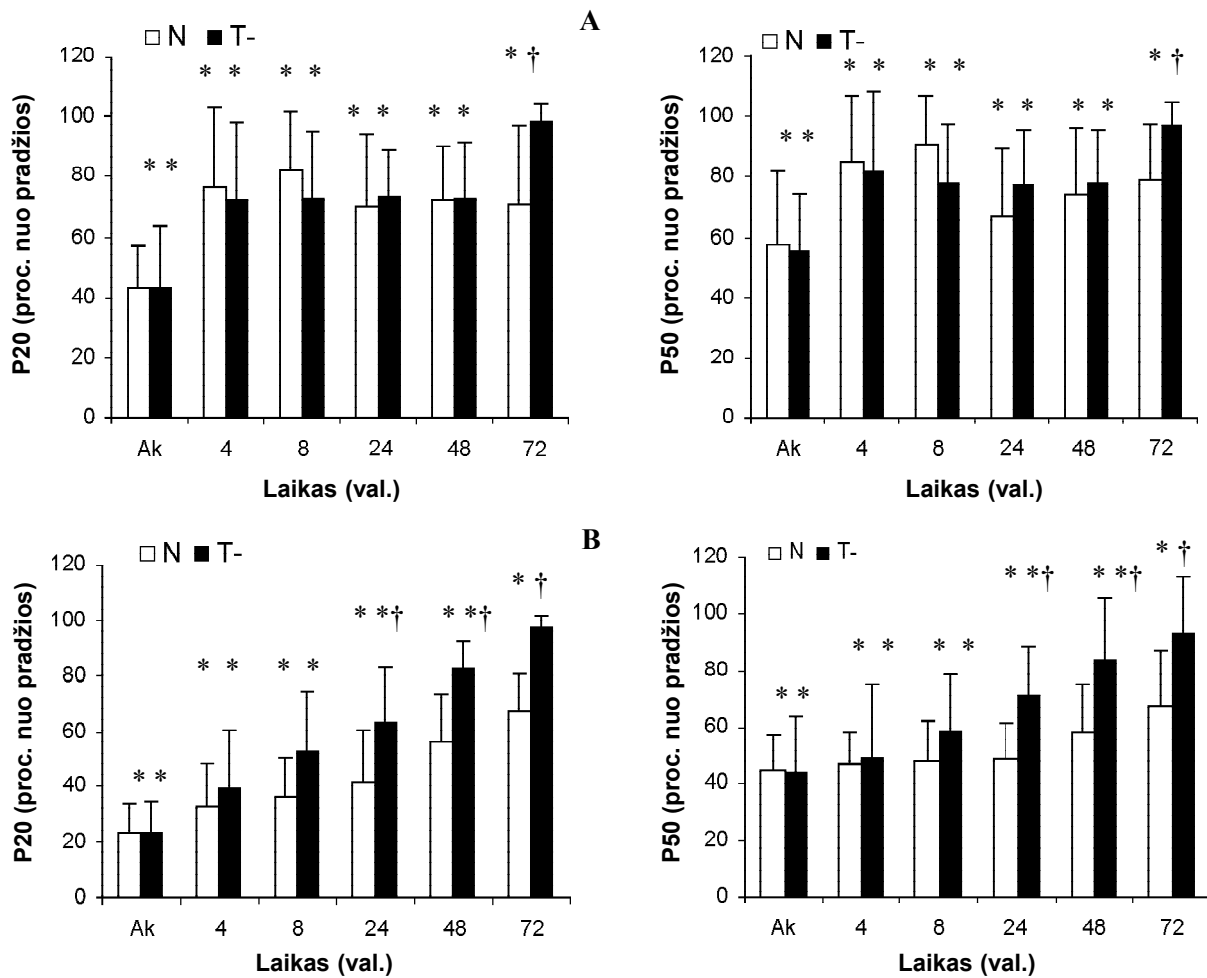
Koncentrinio fizinio krūvio pabaigoje jėgos momentas, esant $180^\circ/\text{sek.}$ kampiniam greičiui, sumažėjo $54 \pm 12,6$ proc. ($p < 0,05$). Ekscentrinio-koncentrinio fizinio krūvio pabaigoje šuolių aukštis sumažėjo $11,9 \pm 8,4$ proc. ($p < 0,05$).

Nepašaldyto raumens nevalingojo susitraukimo jėga, sukelta stimuliuojant elektra 20 ir 50 Hz dažniais, po abiejų fizinio krūvių per 72 val. (palyginus su pradžia) neatsigavo iki pradinio lygio (2 A, B pav.). Po pašaldymo procedūros raumens nevalingojo susitraukimo jėga po 72 val. atsigavo iki pradinio lygio tiek po koncentrinio, tiek po ekscentrinio-koncentrinio fizinio krūvio (2 A, B pav.).



1 pav. Temperatūros reikšmių kitimas po koncentrinio (A) ir ekscentrinio-koncentrinio (B) fizinio krūvio

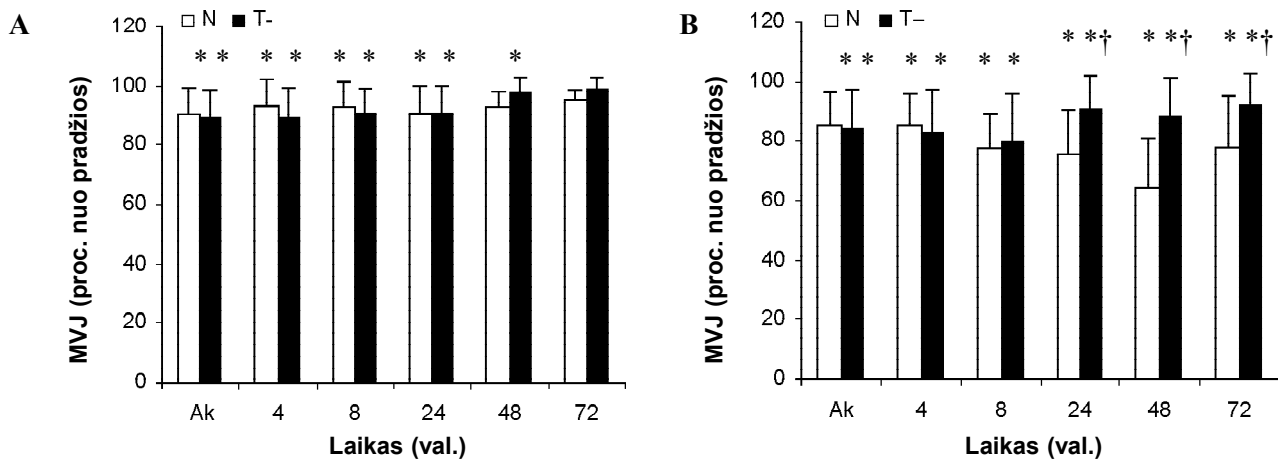
A0 – prieš fizinį krūvį; Ak – iškart po fizinio krūvio; T- – pašaldžius iškart po fizinio krūvio.
*p<0,05 lyginant su pradine reikšme.



2 pav. Raumens nevalingojo susitraukimo, sukkelto stimuliuojant 20 ir 50 Hz dažniais, jėgos kitimas po koncentrinio (A) ir ekscentrinio-koncentrinio (B) fizinio krūvio

Ak – laikas iškart po fizinio krūvio (2 min. po fizinio krūvio).

*p<0,05 lyginant su pradine reikšme. †p<0,05 lyginant pašaldyto (T-) ir nepašaldyto (N) raumens jėgos reikšmes.



3 pav. Maksimaliosios valingosios jėgos reikšmės procentinis kitimas po koncentrinio (A) ir ekscentrinio-koncentrinio (B) fizinio krūvio

* $p < 0,05$ lyginant su pradine reikšme.

† $p < 0,001$ lyginant MVJ reikšmes pašaldyto (T-) ir nepašaldyto (N) raumens.

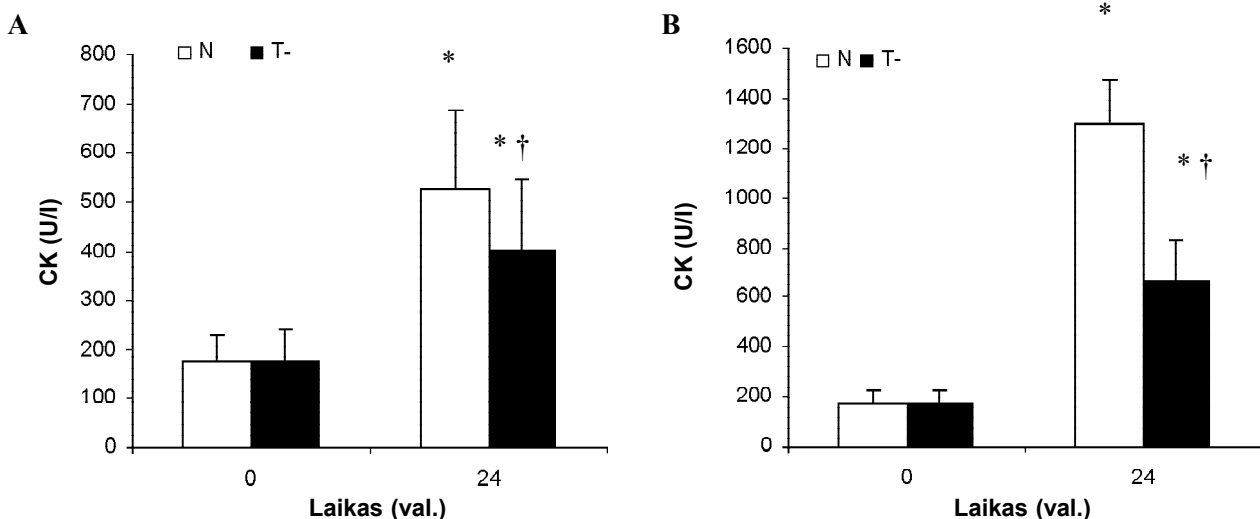
Ak – laikas iškart po fizinio krūvio (2 min. po fizinio krūvio); MVJ – maksimali valingoji jėga.

Po ekscentrinio-koncentrinio fizinio krūvio praėjus 24, 48, 72 val., pašaldyto raumens MVJ reikšmė statistiškai reikšmingai ($p < 0,05$) grįžo į pradinį lygį greičiau nei nepašaldyto raumens. Pašaldyto ir nepašaldyto raumens MVJ reikšmės po koncentrinio fizinio krūvio grįžo iki pradinio lygio tik per 72 val. (3 A, B pav.).

Kraujyje CK aktyvumas prieš fizinį krūvį – 175 ± 71 U/l. CK aktyvumas po abiejų fizinių krūvių praėjus 24 val. statistiškai reikšmingai ($p < 0,05$) padidėjo (po

koncentrinio – $522,0 \pm 165,93$ U/l, po ekscentrinio-koncentrinio – 1293 ± 281 U/l). Po ekscentrinio-koncentrinio fizinio krūvio CK aktyvumas padidėjo daugiau nei po koncentrinio ($p < 0,05$). Po koncentrinio ir ekscentrinio-koncentrinio fizinio krūvio pašaldyto raumens CK aktyvumas buvo statistiškai reikšmingai mažesnis nei nepašaldyto (po koncentrinio – $400,57 \pm 143,05$ U/l, po ekscentrinio-koncentrinio – 693 ± 201 U/l), (4 A, B pav.).

Skausmas po ekscentrinio-koncentrinio krūvio

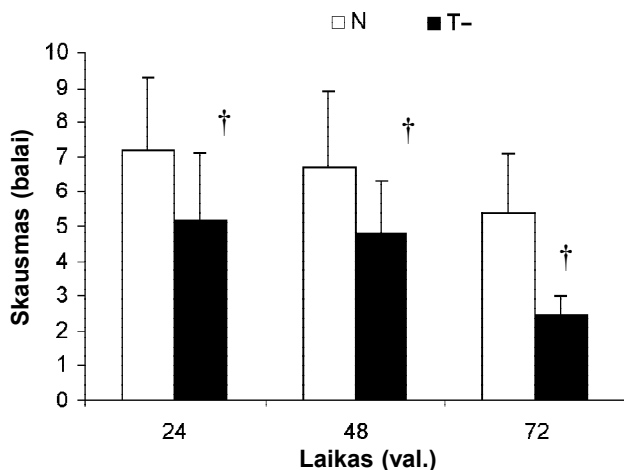


4 pav. Pašaldyto ir nepašaldyto raumens CK aktyvumas prieš fizinį krūvį ir po jo praėjus 24 val.

* $p < 0,05$ lyginant su pradine reikšme.

† $p < 0,05$ lyginant CK reikšmes pašaldyto (T-) ir nepašaldyto (N) raumens.

A – koncentrinis, B – ekscentrinis-koncentrinis fizinis krūvis; CK – kreatinkinazė.



5 pav. Raumenų skausmo subjektyvus vertinimas po ekscentrinio-koncentrinio fizinio krūvio

† $p < 0,001$ lyginant skausmo reikšmes pašaldyto (T-) ir nepašaldyto (N) raumens.

praėjus 24, 48, 72 val., buvo statistiškai reikšmingai ($p < 0,001$) mažesnis pašaldžius raumenį (5 pav.). Po koncentrinio fizinio krūvio raumens skausmu tiriamieji nesiskundė.

Rezultatų aptarimas

Tyrimo duomenimis, raumens pašaldymas po fizinio krūvio veikia raumens pažeidimo rodiklius: sumažėja CK aktyvumas, greičiau atsigauna jėga. Poveikis raumens pažeidimo rodikliams yra didesnis, kai šaldymas taikomas po ekscentrinio-koncentrinio fizinio krūvio, t. y. po tokio tipo fizinio krūvio, kuris sukelia didžiausią raumens mechaninį pažeidimą. Būtent, po ekscentrinio-koncentrinio fizinio krūvio per ilgesnį laiką atsikuria raumens funkcijos, didesnis CK aktyvumas ir daug didesnis skausmas nei po koncentrinio fizinio krūvio. Manome, kad šaldymas skirtingai veikia raumens funkcijų atsikūrimą po fizinio krūvio: po koncentrinio krūvio mažina nuo metabolitų susikaupimo priklausomą baltymų degradaciją; po ekscentrinio-koncentrinio krūvio mažina raumens uždegimo procesus.

Raumenų pažeidimai galimi po neįprastų fizinių krūvių, pavyzdžiui, kai pratimų metu vyrauja ekscentriniai raumenų susitraukimai (12). Manoma, kad po ekscentrinio-koncentrinio fizinio krūvio raumens nuovargis yra susijęs su raumens struktūriniais ir funkciniais pokyčiais (13). Pažeidus raumenį, gali suirti jo sarkomerų struktūra, miofibrilės, citoskeleto baltymai, sarkolema, sumažėti ir ilgai neatsigauti valingoji ir nevalingų susitraukimų raumens jėga, iš pažeistų raumeninių skaidulų gali ištekėti kreatinkinazė, gali vykti uždegiminės reakcijos, sustandėti, pabrinkti ir

ilgai skaudėti raumenis (12, 14, 15).

Po intensyvaus koncentrinio fizinio krūvio raumenyse pasireiškia metabolinis nuovargis. Manoma, kad raumens pažeidimą gali sukelti ir metabolinis, ir nemetabolinis nuovargis (16, 17). Tai rodo, kad padidėjusi kalcio jonų (Ca^{2+}) koncentracija raumeninėse skaidulose po intensyvių fizinių krūvių gali sukelti ilgos trukmės nuovargį, nes Ca^{2+} gali aktyvinti baltymų ardymo procesus (18). Stimuliuojant mažais ir dideliais dažniais, nevalingojo susitraukimo jėga gali sumažėti dėl blogesnio aktyvinimo Ca^{2+} (nes jų mažiau išmetama iš sarkoplazminio tinklo) ir mažesnio pačių miofibrilių susitraukimo (18). Miofibrilių susitraukimas gali sumažėti mechaniškai sužalojus sarkomerus po koncentrinio fizinio krūvio (14). Atliekto tyrimo metu valingosios ir nevalingosios jėgos sumažėjimas po koncentrinio fizinio krūvio nebuvo toks ryškus kaip po koncentrinio-ekscentrinio krūvio. Šie tyrimo duomenys sutampa su kitų mokslininkų analogiškų tyrimų duomenimis (19). Atliekant koncentrinis pratimus, Ca^{2+} išmetami iš sarkoplazminio tinklo sparčiau nei ekscentrinis pratimų metu. Ca^{2+} pašalinimo iš sarkoplazminio tinklo greitį po koncentrinis pratimų gali gerokai sumažinti metabolinis ir oksidacinis stresas.

Raumenų pažeidimas pirmiausia atsiranda dėl mechaninių pokyčių, vėliau dėl kalcio jonų kaupimosi ląstelėje ir baltymų suirimo (18, 20). Vienas raumens pažeidimo kriterijų yra raumens jėgos sumažėjimas. Atliekant tiek koncentrinį, tiek ekscentrinį-koncentrinį fizinį krūvį, jėga sumažėja iškart po pratimų, o atsigavimo trukmė užsitęsia. Šio tyrimo duomenimis, jėga sumažėja esant mažiems ir dideliems stimuliavimo dažniams (2 A, B pav.). Po fizinio krūvio jėga gali sumažėti tada, kai stimuliavimo dažniai maži, ir tada, kai stimuliavimo dažniai dideli (21).

Šio tyrimo duomenys, rodantys teigiamą šaldymo poveikį po pratimų pasireiškusiems raumens pažeidimo simptomams, sutampa su kitų mokslininkų analogiškų tyrimų duomenimis (3, 21–23). Šio tyrimo duomenimis, maksimalioji valingoji jėga, nevalingojo susitraukimo jėga greičiau atsigauna pašaldžius raumenį.

Po ekscentrinis-koncentrinis pratimų raumenų skausmas atsiranda praėjus kelioms valandoms, ypač sustiprėja po 24–48 val. ir išnyksta per kelias dienas. Mokslininkai mano, kad raumenų skausmas rodo raumenyse vykstančius reiškinis, CK aktyvumas rodo raumeninių skaidulų membranų pažeidimo laipsnį (12). Uždelstas raumenų skausmas gali būti kaip antrinis atsakas į pažeidimą. Per kelias dienas po ekscentrinio fizinio krūvio raumenyse padidėja fagocitų aktyvumas – tai rodo uždegiminį atsaką. Padidėja vidinis raumens spaudimas ir prasideda jungiamojo

audinio uždegimas. Tada lėtas išsiskyrimas tokių medžiagų, kaip bradikinino, histamino ir prostaglandinų per pažeistas ląsteles didina skausmo receptorių jautrumą. Dėl ūminio pažeidimo raumens uždegimo metu išsiplečia kraujagyslės, padidėja kapiliarų laidumas ir išorinė ląstelės baltymų koncentracija – šie reiškiniai sukelia edemą. Todėl, šaldant vietiškai, pažeistame audinyje susitraukia kraujagyslės, lėtėja audinių medžiagų apykaita, vietiškai neutralizuojamas histaminas (jis išsilaisvina pažeidimo metu) – taip sumažinamas raumens uždegimas. Tyrimo duomenimis, mažesnį raumens skausmą jautė tie tiriamieji, kurie po ekscentrinio-koncentrinio fizinio krūvio raumenį šaldė. Mokslininkai teigia, kad šaldymas mažina raumens tinimą, skausmą, uždegiminį atsaką traumos metu (22). Raumenį pašaldžius, sulėtėja nervo laidumo greitis, sumažėja raumens verpsčių aktyvumas. Šie reiškiniai mažina tempimo reflekso atsaką ir raumens spazmiškumą, šis sumažina skausmo–spazmo ciklą ir padeda numalšinti skausmą (10).

Po fizinio krūvio atsiradus raumeninės ląstelės membranos (sarkolemos) pažeidimams, CK iš ląstelės

patenka į aplink ląstelę esantį skystį, po to į limfą, o vėliausiai į kraują. Didžiausias fermento aktyvumas kraujyje užregistruojamas po 24–48 valandų. Atlikus izometrinius ir koncentrinus pratimus, CK aktyvumas didėja mažiau nei po ekscentrinų pratimų (12). Šio tyrimo duomenys sutampa su R. Eston bei D. Peters (1999) tyrimų analogiškais duomenimis: pašaldžius pažeistus raumenis, plazmos CK aktyvumas sumažėja praėjus 24 valandoms po ekscentrinio krūvio. Panašią išvadą padarė G. Howatson ir K. A. van Someren (2003): ledo masažas mažina CK aktyvumą. Tai galima paaiškinti tuo, kad po raumens vietinio pašaldymo sumažėja limfos ir kraujo kapiliarų laidumas, mažiau CK patenka iš raumens į limfinę sistemą (3).

Išvados

Šaldymas, taikomas po koncentrinio ir ekscentrinio-koncentrinio fizinio krūvio, veikia raumens pažeidimo rodiklius: sumažėja kreatinkinazės aktyvumas, greičiau atsigauna jėga. Šaldymo poveikis yra didesnis, kai taikomas po ekscentrinio-koncentrinio fizinio krūvio, t. y. kai didesnis raumens pažeidimas.

Cooling makes recovery of muscle faster after eccentric-concentric than concentric exercise

Saulė Sipavičienė, Albertas Skurvydas, Irina Ramanauskienė¹,
Žibuoklė Senikienė², Audronė Dumčienė

Lithuanian Academy of Physical Education, ¹Kaunas University of Technology,

²Kaunas University of Medicine, Lithuania

Key words: skeletal muscle; recovery; cooling.

Summary. *The aim of the study* was to establish the influence of muscle cooling on muscle recovery after concentric and eccentric-concentric exercise. Healthy untrained males (n=40) took part in this study. During the first experiment, subjects performed concentric and during the second – eccentric-concentric exercise. During both experiments, the subjects were divided into the groups. In the first group, the muscles of the lower limbs were cooled down after the physical load, while the muscles of the subjects of the second group were not cooled. The rectal, skin, and muscle temperature was repeatedly measured immediately after physical load and after cooling of the muscle. Before exercise and after 2 min and 4, 8, 24, 48, 72 hours after performing exercise, quadriceps muscle strength, generated by electrical stimulation at frequencies of 20 Hz and 50 Hz, and maximal voluntary contraction force were registered. Serum creatine kinase levels were measured before and 24 hours after exercise. In addition, the subjects subjectively rated their muscle pain on a 10-point scale 24, 48, 72 hours after exercise. The results show that cooling applied to muscles after concentric and eccentric-concentric exercise affected the indicators of muscle damage – the activity of creatine kinase was decreased and muscle strength recovered faster. The cooling effect is greater when it is applied after eccentric-concentric exercise.

Correspondence to S. Sipavičienė, Department of Applied Physiology and Sports Medicine, Lithuanian Academy of Physical Education, Sporto 6, 44221 Kaunas, Lithuania. E-mail: s.sipaviciene@lkka.lt

Literatūra

1. Borgmeyer JA, Scott BA, Mayhew JL. The effects of ice massage on maximum isokinetic-torque production. *J Spot Rehabil* 2004;13:1-8.
2. Hubbard TJ, Denegar CR. Does cryotherapy improve outcomes with soft tissue injury? *J Athl Train* 2004;39(3):278-9.
3. Eston R, Peters D. Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *J Sports Sci* 1999;17:231-8.
4. De Ruiter CJ, Jones DA, Sargeant AJ, de Haan A. Temperature effect on the rates of isometric force development and relaxation in the fresh and fatigued human adductor pollicis muscle. *Exp Physiol* 1999;84(6):1137-50.
5. Paddon-Jones DJ, Quigley BM. Effect of cryotherapy on muscle soreness and strength following eccentric exercise. *Int J Sports Med* 1997;18(8):588-93.
6. Enwemeka CS, Allen C, Avila P, Bina J, Konrade J, Munns S. Soft tissue thermodynamics before, during, and after cold pack therapy. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:45-50.
7. Skurvydas A, Masiulis N, Satkunsienė D, Stanislovaitis A, Mamkus G, Kamandulis S, et al. Keturgalvio šlaunies raumens jėgos bimodalinis atsigavimas per 24 valandas po 30 sekundžių sprinto veloergometru. (Bimodal recovery of quadriceps muscle force within 24 hours after sprint cycling for 30 seconds.) *Medicina (Kaunas)* 2007;43(3):226-34.
8. Skurvydas A, Mamkus G, Stanislovaitis A, Mickevičienė D, Bulotienė D, Masiulis N. Keturgalvio šlaunies raumens mažų dažnių nuovargis atliekant izometrinį fizinį krūvį. (Low frequency fatigue of quadriceps muscle after sustained maximum voluntary contractions.) *Medicina (Kaunas)* 2003;39(11):1094-99.
9. Skurvydas A, Dudonienė V, Bartasevičius L. Temperatūros poveikis raumens funkcijos atsigavimui po maksimalaus intensyvumo veloergometrinio krūvio. (Influence of temperature on the recovery of muscle function after performing maximal intensity exercise.) *Medicina (Kaunas)* 2002;38(6):641-46.
10. Meeusen R, Lievens P. The use of cryotherapy in sports injuries. *Sports Med* 1986;3(6):398-414.
11. Nosaka K, Newton M, Sacco P. Muscle damage and soreness after endurance exercise of the elbow flexors. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(6):920-7.
12. Byrne RM, Twist C, Eston R. Neuromuscular function after exercise-induced muscle damage: theoretical and applied implications. *Sports Med* 2004;34(1):49-69.
13. Kuitunen S, Avela J, Kyröläinen H, Komi PV. Voluntary activation and mechanical performance of human triceps surae muscle after exhaustive stretch-shortening cycle jumping exercise. *Eur J Appl Physiol* 2004;91:538-44.
14. Proske U, Morgan DL. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *J Physiol* 2001;537(Pt 2):333-45.
15. MacIntyre DL, Soricter S, Mair J, Berg A, McKenzie DC. Markers of inflammation and myofibrillar proteins following eccentric exercise in humans. *Eur J Appl Physiol* 2001;84(3):180-6.
16. Tee JC, Bosch AN, Lambert MI. Metabolic consequences of exercise-induced muscle damage. *Sports Med* 2007;37(10):827-36.
17. Horita T, Komi PV, Hämäläinen I, Avela J. Exhausting stretch-shortening cycle (SSC) exercise causes greater impairment in SSC performance than in pure concentric performance. *Eur J Appl Physiol* 2003;88:527-34.
18. Westerblad H, Allen DG. Recent advances in the understanding of skeletal muscle fatigue. *Curr Opin Rheumatol* 2002;14(6):6418-652.
19. Nielsen JS, Madsen K, Jorgensen LV, Sahlin K. Effects of lengthening contraction on calcium kinetics and skeletal muscle contractility in humans. *Acta Physiol Scand* 2005;184:203-14.
20. Allen DG. Skeletal muscle function: role of ionic changes in fatigue, damage and disease. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 2004;31(8):485-93.
21. Martin V, Millet GY, Martin A, Deley G, Lattier G. Assessment of low-frequency fatigue with two methods of electrical stimulation. *J Appl Physiol* 2004;97:1923-9.
22. Connolly DAJ, Sayers SP, McHugh PM. Treatment and prevention of delayed onset muscle soreness. *J Strength Cond Res* 2003;17(1):197-208.
23. Howatson G, Van Someren KA. Ice massage. Effects on exercise-induced muscle damage. *J Sports Med Phys Fitness* 2003;43(4):500-5.

Straipsnis gautas 2007 12 12, priimtas 2008 03 12

Received 12 December 2007, accepted 12 March 2008